

La Lettre de la S.C.M.



Septembre 2015

Numéro 71

ISSN : 2112-4698

La vérité ne fait pas tant de bien en ce monde que ses apparences n'y font de mal (La Rochefoucauld)

Éditorial par Bernard Beauzamy : Recherche & Trous pour CO₂

Au moins une fois par semaine, quelqu'un vient nous dire : mais faites donc de la recherche, montrez que vous êtes une entreprise innovante ! Tantôt c'est un représentant du MEDEF qui vient nous parler du Crédit Impôt Recherche, tantôt c'est la Chambre de Commerce qui nous envoie un questionnaire, tantôt on nous sollicite pour participer à des "trophées" quelconques, etc.

Notre réponse n'est pas seulement négative ; elle est brutale. Il est hors de question que nous participions à un quelconque dispositif de type "Crédit Impôt Recherche", parce que les inspecteurs en charge des vérifications auront à cœur de comparer ce que nous faisons avec leur propre conception de la recherche, qui n'est pas la nôtre. Pour nous, la plupart des programmes que l'on voit à l'heure actuelle sont du politiquement correct sans contenu et nous ne voulons pas y participer.

Il y a une différence fondamentale entre "vouloir faire de l'innovation" à tout prix, même si elle ne sert à rien et que personne n'en veut, et apporter des réponses aussi pertinentes que possible aux préoccupations qui se rencontrent.

La tendance actuelle, appelée "innovation", consiste souvent à déployer quelque moyen technologique extraordinaire : des drones pour relever les consommations d'électricité, des sous-marins dans les égouts pour détecter les fuites. Plus c'est gros, plus c'est bête, mieux c'est accueilli, plus on en parle dans les médias.

Il nous arrive de lancer des programmes de recherche (et c'est le cas aujourd'hui, voir plus bas), mais ils sont toujours destinés à comprendre pourquoi quelque chose ne fonctionne pas correctement. Essayons, par exemple, d'améliorer les réseaux de capteurs du point de vue de leur fiabilité. C'est modeste, mais cela repose sur un besoin réel.

Nous repoussons toute espèce de subvention. Si le sujet est suffisamment pertinent, il se trouvera des entreprises pour reconnaître leur besoin ; si ce n'est pas le cas, c'est que nous l'avons mal présenté.

On a du mal à comprendre, aujourd'hui, ce qui peut caractériser le succès d'un programme de recherche. Pour nous, l'évaluation est claire : la solution que nous préconisons doit se montrer efficace sur le terrain. Mais, à l'inverse, nous voyons constamment des situations où le succès est évalué au nombre de publications qui ont été réalisées, au nombre de thèses soutenues, au nombre d'articles rédigés, au compte-rendu que font les médias.

Il est difficile de comprendre en quoi ces indicateurs (qui relèvent du jugement par les pairs) peuvent être pertinents.

Lorsqu'il s'agit d'une entreprise, on semble juger le succès aux montants qu'elle peut lever lors d'appels à des investisseurs, à des fonds de "private equity", à des financements publics. Et si le propriétaire parvient à revendre sa coquille vide à des Chinois avant qu'elle ne se perce et ne s'effondre, alors c'est un délire médiatique et il est sûr de passer à la télévision. Nous ne comprenons pas en quoi le fait d'avoir réussi à duper des Chinois en leur vendant quelque chose qui n'existe pas constitue une réussite ; en langage plus ancien, c'était une fraude.

Il s'est créé progressivement, au cours des vingt dernières années, une sorte de délire collectif et médiatique, consistant à appeler "recherche" une activité entièrement dépourvue de contenu, dont, la plupart du temps, il est évident a priori qu'elle ne peut déboucher sur rien. N'importe qui de bon sens sait d'avance que le programme ne peut avoir aucun résultat, et qu'un tel projet ne devrait jamais recevoir le moindre financement. Néanmoins, c'est politiquement correct et il y a consensus.

Consensus : le mot est là. Par le passé, le juge de paix de la recherche scientifique était les observations, les faits. On soumettait les théories, les réalisations, à l'épreuve de l'expérimentation. Aujourd'hui, cette approche a complètement disparu. On y a substitué une approche par consensus. Prenons un exemple concret : les projets de "séquestration du CO₂", que l'on voit fleurir un peu partout. Ils n'ont absolument aucun sens, ni scientifique ni technologique, ni économique. Vous faites un trou, et vous mettez du CO₂ dedans : la Planète ne s'en porte ni mieux ni plus mal. Cela ne sert strictement à rien. Vous pourriez aussi bien mettre dans le trou les discours et les écrits des politiciens : cela aurait le même effet. Mais remplir un trou avec du CO₂ est politiquement correct et cela donne du travail à un certain nombre d'organismes qui, par le passé, ont fait de la vraie recherche et à d'autres qui, sans cela, n'existeraient pas.

Aujourd'hui, une entreprise peut fort bien lancer un programme de recherche et lever des fonds en conséquence avec pour objectif la "séquestration" du CO₂.

On nous dit "mais tous ces programmes ont été décidés par le Ministre ; le rôle d'une PME est d'obéir". Il est très possible en effet qu'un ministre existe quelque part ; nous ne voyons pas en quoi cela peut nous concerner. Le rôle du mathématicien est de s'efforcer de comprendre les lois de la Nature ; nous ne comprenons pas en quoi le ministre, le trou, le CO₂, en font partie.

Bernard Beauzamy

Courrier reçu

De Serge Bloch : Un grand merci pour votre lettre trimestrielle dont la livraison me ravit toujours. Voici une autre explication au sex ratio favorable aux garçons, vous paraît-elle plus convaincante ? Le sexe des bébés est déterminé par la paire des chromosomes sexuels : XX pour une fille, XY pour un garçon. Il se trouve que le chromosome Y est plus léger que le chromosome X. La moitié des spermatozoïdes portent un chromosome sexuel de type X, l'autre moitié un chromosome sexuel de type Y. Cette proportion est exacte. Elle est établie à l'étape de la méiose dans la lignée germinale. Le chromosome sexuel Y étant plus léger, les spermatozoïdes qui l'hébergent ont un avantage concurrentiel dans la course à la fécondation de l'ovule. Ce site en parle assez bien : <http://www.sjsu.edu/faculty/watkins/sexratio.htm>

Réponse de la SCM : il y a certainement des différences entre chromosomes, mais nous ne pensons pas qu'il soit pertinent de parler d'avantage concurrentiel. La Nature fait quantité d'essais, en ce qui concerne toutes les caractéristiques des espèces, y compris leur reproduction. C'est pure arrogance que de croire que le système adopté par la Nature en ce qui concerne l'espèce humaine représente en quoi que ce soit un "optimum".

De Jean-Claude Couot, à propos de la Lettre de la SCM : cette lettre répond parfaitement à mes attentes ; j'apprécie vraiment vos commentaires basés sur de solides hypothèses et non sur des théories de technocrates comme on en rencontre hélas beaucoup trop. Je me suis permis de la faire connaître au sein de l'École Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Bretagne Sud (ENSIBS) où, bien que retraité de l'industrie, il m'arrive d'intervenir dans le cadre de simulations d'entretiens d'embauche. Ne changez rien, continuez !!!

Réponse de la SCM : merci, c'est très gentil.

M. Emmanuel Lardeux, Air Liquide, nous envoie un rapport intitulé "Etude sur l'impact socio-économique des mathématiques en France", édité par une "Agence pour les Mathématiques en Interaction avec l'Entreprise et la Société". M. Lardeux s'étonne que nous n'ayons pas été consultés pour l'élaboration de ce rapport et que nous ne soyons pas cités. Mais en vérité c'est complètement normal : l'Agence dont il s'agit a un caractère purement académique, et cherche à valoriser les mathématiques académiques, qui ne sont pas les nôtres.

Pour prendre une comparaison très claire, on peut imaginer des moines tibétains réunis auprès d'un stupa et délibérant sur le rôle de la pensée bouddhique dans le fonctionnement de l'automobile ; ils n'auront pas consulté General Motors et il n'est pas certain que General Motors s'en soucie.

Cette Agence affirme que les mathématiques académiques contribuent pour 15% au PIB du pays ; on ne voit pas ce qui détermine un chiffre aussi bas. La plupart des gens qui contribuent au PIB sont allés à l'école et la plupart des gens qui sont allés à l'école ont fait un peu de mathématiques : une estimation de 95% resterait modeste.

CNES

Le Centre National d'Etudes Spatiales lance un appel à projets, où on lit ceci : "La Recherche est destinée à améliorer la compréhension des phénomènes complexes qui opèrent dans les systèmes et sous-systèmes et la Technologie, dont la finalité est la maturation des technologies pour préparer les systèmes à venir." On ne saurait être plus clair ! Le CNES devrait envoyer des messages à destination des extraterrestres ; s'ils sont belliqueux, ils repartiront abasourdis.

Von Neumann

Début août, la chaîne de télévision ARTE a consacré une émission à Von Neumann. Comme d'habitude avec les journalistes, on tombe vite dans l'hagiographie. Il était doté d'une mémoire extraordinaire : il pouvait réciter des pages entières en ne les ayant lues qu'une seule fois, et s'en souvenait des années après. Sa contribution aux mathématiques a touché de nombreux domaines : algèbres d'opérateurs, fondements de la mécanique quantique, architecture des calculateurs, etc. Il a également contribué aux fondements de la théorie des jeux (avec Morgenstern). Dans tous ces domaines, l'apport de Von Neumann a été de réaliser un cadre axiomatique propre et solide, mais de nature complètement académique. La validité de la théorie des jeux, comme élément d'aide à la décision, est éminemment contestable en pratique. Elle est décrite de manière très juste et très ironique dans le film de Stanley Kubrik "Dr. Folamour". En particulier, elle a permis la propagation de deux idées fausses, très répandues aujourd'hui :

- D'abord, les modèles économiques requièrent que tous les coûts soient chiffrables, ce qui en pratique n'a aucun sens ;
- Ensuite, ils reposent sur l'idée fondamentalement fautive selon laquelle la Nature rechercherait un équilibre.

Quant à recommander, au nom de cette théorie, un bombardement nucléaire préventif de l'URSS, disons que l'on peut se féliciter que les présidents des USA à l'époque n'aient pas suivi la recommandation de Von Neumann.

Nous-mêmes, en 1997, pour le compte de la Délégation aux Affaires Stratégiques (Ministère de la Défense), avons étudié les équilibres de dissuasion nucléaire, par des méthodes probabilistes. Nos conclusions, portant sur l'exemple du sous-continent indien, à propos d'un éventuel conflit nucléaire Inde-Pakistan, différaient de celles des experts : le risque d'un tel conflit n'était pas très élevé, même si cette région du monde avait déjà été le théâtre de plusieurs guerres conventionnelles. Les faits nous ont donné raison ; voir :

http://www.scmsa.eu/archives/SCM_DAS_dissuasion_1997.pdf
On peut au moins nous accorder ce crédit : nous n'avons prôné aucun bombardement, ni préventif, ni curatif !

Le commentaire fait par Roger Penrose au cours de cette émission nous paraît pertinent. Penrose dit qu'il y a des "mathématiciens malins", au nombre desquels il range Von Neumann : ils sont capables de poser et de résoudre rapidement des questions. Et puis, dit Penrose, il y a des "mathématiciens idiots", seuls capables de remettre en cause les fondements du savoir. Von Neumann n'était pas de ceux-là.

Pour nous, la contribution la plus significative de Von Neumann réside dans son petit livre "The Computer and the Brain", Yale University Press, 1957 (à ne surtout pas lire dans la traduction française, victime d'un contresens complet). Il y étudie le système de codage de l'information dans le cerveau humain. Les conclusions de Von Neumann n'ont été reprises par personne ; le livre n'est même pas mentionné par Connes et Changeux dans leur livre "Matière à pensée" (Alain Connes était pourtant un élève de Von Neumann...).

Nous-mêmes avons poursuivi ces travaux :

http://www.scmsa.eu/archives/BB_neurons_1997.pdf

mais sans plus de succès que Von Neumann : nous n'avons jamais réussi à les faire publier dans une revue traitant de neurosciences : le niveau mathématique de l'étude n'était pas à la portée des spécialistes de ces disciplines.

A^{MW} L'American Mathematical Society vient de publier une recension de notre livre "Archimedes Modern Works", écrite, chose vraiment inhabituelle, par quelqu'un qui a lu le livre et l'a compris. Elle est disponible ici : http://www.scmsa.eu/archives/AMW_review_2962726.pdf

M^{GR} Pour une raison complètement inconnue, la société Dix Septembre, qui est basée à Orvault (site web <http://www.dixseptembre.com>) a acheté dix exemplaires de notre "Manuel de Gestion de la Recherche". A l'inverse, l'Université des Productions Alimentaires, à Moscou, à qui nous avons offert un exemplaire du livre "Probabilistic Information Transfer", nous a gentiment informés qu'elle le mettrait en ligne, pour consultation par tous les étudiants.

Corrélations
Un industriel nous a posé la question de la possible corrélation entre le prix du pétrole et le prix des produits dérivés, sur une dizaine d'années ; notre réponse a été assez surprenante : il y a une bonne corrélation entre les tendances, mais nullement entre les valeurs. Lorsque le prix du pétrole augmente, les prix des produits dérivés ont tendance à augmenter aussi, mais pas de manière déterministe, prévisible, univoque.

Nous avons rencontré le même phénomène lors d'une étude réalisée sur la possible corrélation entre trafic automobile et pollution. Lorsque le trafic augmente, les concentrations en polluants ont tendance à augmenter aussi, mais le lien entre les deux n'est ni déterministe, ni biunivoque.

Ces résultats contredisent l'approche très naïve retenue par beaucoup d'universitaires. Etant donnée une variable X (le trafic, le prix du pétrole), ils voudraient représenter la dépendance de la variable Y (la pollution, le prix des produits dérivés) au moyen d'une relation fonctionnelle $Y = f(X)$; les exemples ci-dessus montrent que ce n'est ni possible, ni souhaitable.

La même situation se rencontre en épidémiologie, où l'on voudrait représenter le taux de cancers dans une population, en fonction de la dose de radioactivité reçue, par un modèle linéaire, même pour les faibles doses.

Mais il faudrait beaucoup plus que quelques contre-exemples pour infléchir, si peu que ce soit, les convictions des universitaires !

Lig'Air
Nous avons dû interrompre le contrat que nous avions avec l'association Lig'Air, chargée de la qualité de l'air en Région Centre. Nous avons un petit contrat (un mois de travail), notifié en février, aux termes duquel nous étions supposés aider l'association à améliorer ses modèles de prévision, qui fonctionnent mal. Nous y avons travaillé environ quatre mois, et nous avons reçu une lettre du directeur, M. Patrice Colin, qui nous dit que "il nous reste encore un travail considérable pour satisfaire notre commande". Nous avons gentiment rappelé à M. Colin que Lig'Air était investie d'une mission de service public, et, à ce titre, était astreinte à un "devoir de probité" : il y a une nuance entre passer un petit contrat à une PME pour qu'elle propose une amélioration méthodologique des modèles et lui demander de redéfinir complètement les dispositifs d'alerte en région Centre. Les PME modernes ont cessé d'être taillables et corvéables à merci.

N^{EA} Nous avons un nouveau contrat, signé par la Nuclear Energy Agency de l'OCDE, avec laquelle nous avons déjà collaboré quatre fois par le passé. Le travail consiste à définir, puis automatiser, des outils qui vont détecter des données aberrantes dans des fichiers relatifs à des réactions nucléaires. Les contrats précédents ont donné lieu à des publications.

Les données aberrantes peuvent être isolées (par exemple une erreur de transcription), ou bien concerner tout un groupe de données, par exemple lorsqu'un laboratoire a mis en place un protocole qui se révèle insatisfaisant, ou bien encore un appareil mal calibré. La détection d'un groupe de données, homogènes entre elles mais incohérentes avec les autres, est évidemment plus difficile. Dans les deux cas, nos méthodes sont probabilistes.

Le mode de fonctionnement de la NEA est très intéressant, et gagnerait à être imité par bon nombre de grands industriels. Les laboratoires des pays membres font des expériences, dont les résultats sont transmis à la NEA. Celle-ci vérifie et capitalise. La vérification consiste à comparer les résultats entre eux ; si une anomalie est détectée, la NEA ne la corrige pas, mais en informe le laboratoire concerné. La capitalisation consiste à bien entretenir les bases de données, veiller à ce qu'elles soient toujours accessibles et bien à jour.

Beaucoup d'industriels, du fait de leur ancienneté et du nombre de leurs installations, bénéficient d'un retour d'expérience important (par exemple les taux de panne des matériels, par type d'utilisation, par région, par année), mais ces informations ne sont pas suffisamment exploitées. Un autre exemple consiste en l'interprétation scientifique de ce retour d'expérience : quelles sont les raisons qui font que le matériel tombe en panne ?

Même en cas d'accident industriel grave, le retour d'expérience est rarement exploité autant qu'il devrait l'être. Généralement, l'industriel se débarrasse de cette activité, mais les raisons de l'accident demeurent mystérieuses.

Prévisions de trafic des télécommunications
Un contrat nous a été notifié en juin par une société réalisant des prévisions de trafic des télécommunications (voix et données). La difficulté qu'elle rencontre est la présence d'anomalies (panne de certains équipements, événements exceptionnels, etc.) qui font que le trafic présente des changements de régime. Nous avons d'abord analysé les propriétés générales des données de trafic et leur variabilité, afin d'établir la proportion de situations exceptionnelles. Nous avons également montré l'absence de saisonnalité hebdomadaire et annuelle. Dans une seconde phase, nous avons effectué les prévisions du trafic en utilisant notre méthode EPH (hypersurface probabiliste).

Solvability II
Nous préparons actuellement un Livre Blanc concernant les méthodes de détermination des fonds propres pour les assurances, connues sous le nom de "Solvability II". La question fait suite à l'exposé de M. Gilles Dupin (PDG de Monceau Assurances), pendant notre colloque de février dernier.

De manière générale, lorsqu'une nouvelle réglementation intervient, sur quelque sujet que ce soit, elle doit montrer une amélioration par rapport à la précédente. On peut donc se demander : quels étaient les défauts des règles existantes, et en quoi les nouvelles règles permettent-elles d'y remédier ?

Réchauffement climatique

Un Livre Blanc, intitulé "La lutte contre le Réchauffement Climatique : une croisade absurde, coûteuse et inutile" a été rédigé par la SCM ; il est disponible sur notre site web : http://www.scmsa.eu/archives/SCM_RC_2015_08.pdf

Une version anglaise du résumé est également disponible sur le site ; la traduction anglaise du Livre entier devrait l'être prochainement. Des traductions du résumé en russe et en chinois sont envisagées.

Une émission de Radio-Courtoisie sera consacrée à ces questions, mais la date de diffusion n'est pas encore fixée.

Un colloque sera organisé en nos locaux le mardi 13 octobre, pour le présenter ; l'affiche est disponible :

http://www.scmsa.eu/archives/SCM_CLQ_2015_10.pdf

Notre souhait, après ce colloque, serait de participer à l'organisation d'une conférence internationale, en fin d'année, pour répondre à la COP21. Elle pourrait se tenir à Moscou et regrouper les scientifiques qui ne se satisfont pas du dogme du réchauffement climatique ; ce serait une occasion pour les pays qui n'adhèrent pas au Protocole de Kyoto de faire connaître leur point de vue (ces pays "dissidents" représentent actuellement 85% des émissions de GES !).

Malgré tous les efforts faits par bon nombre de scientifiques, ni les politiques ni les médias ne veulent se donner la peine de remettre en cause le dogme du réchauffement, qu'ils présentent toujours comme avéré. Il y a peu d'exemples d'un tel entêtement, d'un tel mépris pour les faits, pour les données, pour les observations. Le consensus autour du réchauffement, dont parlent les médias, n'est pourtant qu'apparent : la population est bien plus réservée (et nous recevons de nombreux témoignages en ce sens). Comme le dit notre Livre Blanc "le dogme liberté gronde et montre ses crocs" (Victor Hugo : les Châtiments).

Bien entendu, pour une PME, le fait de remettre en cause une "vérité d'Etat" n'est pas sans risques. On ne peut nous poursuivre au pénal, mais les administrations et les organismes qui dépendent de l'Etat ont quelquefois à notre égard des comportements un peu bizarres. Nous racontons plus haut l'amorce d'un litige avec Lig'Air, qui (en principe) n'a rien à voir. De la même façon, nous attendons le règlement de deux factures par la Direction Générale Energie Climat, Bureau Qualité de l'Air. L'une date du 24 avril, l'autre du 2 juillet. Le contrat s'est parfaitement bien déroulé (hormis les retards apportés par l'administration à nous fournir les données, que les Associations pour la Qualité de l'Air ne veulent pas partager), et nos rapports ont été acceptés sans commentaires particuliers, mais, pour une raison très mystérieuse, les factures ne sont pas payées...

Un point vraiment étonnant est : comment se fait-il que, en France, le réchauffement climatique n'ait jamais été contesté ? Toute décision qui émane de l'Etat ou des collectivités locales, chez nous, trouve sur son chemin une meute d'usagers et de citoyens mécontents : que l'on pense à l'édification des centrales électriques, des lignes HT, aux limitations de vitesse, etc. Pour le réchauffement, aucune opposition organisée. L'Académie des Sciences a été incapable de se prononcer, et les Industriels ont toujours fait "profil bas". L'explication que nous avons donnée, en 2001, nous paraît toujours valable : le sujet a une composante religieuse ; il s'agit de sauver la planète, et tout le monde est d'accord pour ce type de croisade, qui accorde à l'espèce humaine une importance qu'elle n'a pas. Le mathématicien seul est capable de regarder les données et de dire : agitez-vous tant que vous voudrez, la planète ne vous a rien demandé.

IRSN

L'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire nous a notifié un nouveau contrat, portant sur l'analyse dynamique du réseau TELERAY, qui assure la surveillance de la radioactivité dans l'air. Nous avons fait un premier travail en 2013, que l'on peut qualifier de "statique" : il s'agissait de comparer les balises entre elles et de se prononcer sur leur bon fonctionnement. Le présent contrat est "dynamique", en ce sens que nous simulons le déplacement d'un nuage radioactif ; il s'agit de savoir si les balises le détectent correctement. Différents types de nuages seront pris en compte.

En même temps, nous avons lancé un programme de recherche plus général, destiné à s'intéresser aux dysfonctionnements des réseaux de capteurs, tenant compte des pannes, des fausses alarmes et des imprécisions.

La plupart des réseaux sont dimensionnés comme si tout devait fonctionner parfaitement, mais ce n'est pas le cas en pratique. Le sujet est présenté sur notre site web :

www.scmsa.eu/RMM/SCMSA_Malfunction_Sensors_2015_09_04.pdf. Il sera géré directement par la Direction Scientifique de l'IRSN.

En 2007, un désastre s'est produit dans une mine de Zasyadko, région de Donetsk, Ukraine, et plus de 100 mineurs ont été tués par une explosion de méthane. L'enquête a montré que le réseau de détecteurs n'avait pas fonctionné correctement. La SCM avait été consultée par les autorités locales : pouvions-nous améliorer la sécurité du réseau ? Notre réponse avait été que chaque capteur devait être surveillé en permanence, en utilisant une comparaison avec ses voisins. Il faut donc prévoir un réseau de capteurs très dense. Et, lorsque ceci est fait, il faut multiplier par deux le nombre de capteurs. Lorsque ceci est fait, encore multiplier par deux ! C'est une pièce d'équipement vitale, et lorsque les gens sont à 1 000 m sous terre, ce n'est pas le lieu ou le moment pour faire de l'optimisation mathématique.

A l'époque (2007), le projet d'amélioration du réseau de capteurs à Donetsk n'avait pas abouti (inertie de l'administration ukrainienne), mais le CEA et la Direction Générale Energie Climat (celle de l'époque) l'avaient soutenu.

Les dysfonctionnements dans les réseaux de capteurs intéressent aussi les modes de fabrication. En effet, par exemple lors de la production de certains aciers, il est nécessaire d'assurer une précision particulière en température à certains endroits de la ligne de fabrication, et des capteurs spéciaux sont installés à ces endroits. Un dysfonctionnement des capteurs peut donc se traduire par une mauvaise qualité du produit en sortie. Nous avons eu un contrat avec ArcelorMittal sur ces questions il y a quelques années ; il s'agissait de déterminer les zones du processus de fabrication qui étaient les plus critiques et où la surveillance devait être la plus fine possible.

Un point particulier mérite l'attention : l'existence de fausses alarmes, dans un réseau de capteurs, est susceptible de modifier complètement l'organisation du réseau. De manière simplifiée, on a le sentiment que plus un réseau est dense, mieux cela vaut : on aura davantage d'information. Mais ceci cesse d'être vrai si on prend en compte l'existence des fausses alarmes, dont le nombre va croître en proportion de la taille du réseau. Il sera alors nécessaire, comme nous le disons plus haut, de comparer chaque capteur à ses voisins pour les détecter aussi tôt que possible. On ne peut pas se permettre, dans ces conditions, de traiter les capteurs indépendamment les uns des autres.